



## 中国陶瓷谷国际会展中心结构设计

阳 波, 刘建文, 易展辉, 袁峥嵘, 刘义仁  
(湖南省建筑设计院集团股份有限公司, 湖南 长沙 410082)

**摘要:** 会展建筑是一种特殊的建筑类型, 结构设计存在大跨度、重荷载、超长结构、造型复杂等一系列难点。文章以中国陶瓷谷国际会展中心为例, 对大型会展建筑的结构设计关键问题进行探讨, 详细阐述了项目的工程概况、基础设计、上部主体结构设计, 重点分析了展馆和陶瓷生活体验馆大跨度屋盖结构比选和计算过程, 采用多款软件对上部结构进行包络设计; 并对遮阳板、景观柱廊、楼盖振动舒适度、复杂节点进行了专项分析。研究结果表明: 基础选型合理, 承载力高; 大跨度屋盖结构方案采用空间桁架、网架和钢梁三种结构形式, 高效应对大跨结构的力学需求, 同时满足造价、功能和美学要求; 多款软件和多种计算模型包络设计以及重难点专项分析保证了结构设计的安全性、可靠性和舒适性。

**关键词:** 会展中心; 大跨结构; 空间桁架; 网架; 结构设计

**中图分类号:** TU318

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-8993(2025)10-0089-05

**doi:** 10.13402/j.gcjs.2025.10.130

## Structural design of China ceramic valley international exhibition center

YANG Bo, LIU Jianwen, YI Zhanhui, YUAN Zhengrong, LIU Yiren  
(Hunan Architectural Design Institute Group Co., Ltd., Changsha 410082, Hunan, China)

**Abstract:** Exhibition and convention buildings are a special type of architecture, with structural design presenting a series of challenges such as large spans, heavy loads, super-long structures, and complex shapes. This paper takes the China ceramic valley international convention and exhibition center as an example to explore the key issues in the structural design of large-scale exhibition and convention buildings, providing a reference for similar projects. The article elaborates on the project's engineering overview, foundation design, and upper main structure design in detail, with a focus on the comparison and calculation process of the large-span roof structures of the exhibition hall and the ceramic life experience hall. It also uses multiple software to conduct envelope design on the upper structure. Special analyses are conducted on sunshades, landscape colonnades, floor vibration comfort, and complex nodes. The research results show that the foundation selection is reasonable and has high bearing capacity; the large-span roof structure schemes adopt three structural forms: spatial trusses, grid structures, and steel beams, which efficiently meet the mechanical requirements of large-span structures while satisfying cost, function, and aesthetic requirements. The envelope design using multiple software and various calculation models, as well as the special analysis of key and difficult points, ensure the safety, reliability, and comfort of the structural design.

**Key words:** exhibition center; large span structure; space truss; grid structure; structural design

近年来, 会展类项目在我国迎来了一波建设高潮, 如天津国家会展中心、上海会展中心、深

圳国际会展中心等等, 这类建筑兼具功能性与标志性的特点, 同时会展建筑的结构设计存在大跨

**收稿日期:** 2025-2-12

**作者简介:** 阳 波(1989—), 男, 高级工程师, 从事建筑结构设计和结构健康监测。

度、大悬挑、重荷载、超长结构、造型复杂的特点和难点。赵建国等<sup>[1]</sup>对天津国家会展中心结构设计进行探讨,发掘和创新了一种大跨空间结构体系。周建龙等<sup>[2]</sup>对大型会展中心大跨度楼盖结构体系进行了比选,分析结果表明大跨度、重荷载楼盖体系采用一、二级次梁布置具有良好的经济性和结构冗余度。刘彦生等<sup>[3]</sup>研究了上海国家会展中心 B1 展厅屋盖结构设计的关键问题,得出了合理划分结构单元、合理布置屋面支撑系统可有效解决超大体量建筑带来的系列难点。

本文以中国陶瓷谷国际会展中心为例,探讨了大型会展建筑的结构设计关键问题,主要介绍结构总体设计思路、基础选型、上部主体结构设计、异形构件设计、楼盖舒适度分析、复杂节点设计等,重点分析了大跨度屋盖的选型和计算分析,采用多种结构方案应对大跨屋盖的力学、美学和经济性需求,并通过应力分析和屈曲分析解决了异形构件设计难题,可为此类项目的结构设计提供借鉴参考。

## 1 工程概况

中国陶瓷谷国际会展中心项目位于醴陵市凤凰大道与玉瓷路交汇处东北侧,主要功能为展览、会议,地下 2 层,展馆地上 1~2 层,会议中心地上 5 层,总建筑面积为 127 935 m<sup>2</sup>,其中地上建筑面积约为 61 809 m<sup>2</sup>,地下建筑面积约为 66 126 m<sup>2</sup>,为大型综合性会展建筑。

整个建筑按使用功能分为 5 个区,其中 1~3 区为大型展馆,建筑高度为 23.950 m,建筑平面尺寸为 107.2 m×63.0 m;4 区为会议中心,建筑平面尺寸为 89.2 m×54.0 m,建筑高度为 23.950 m;5 区为陶瓷生活体验馆,地上 2 层,建筑高度为 17.450 m,屋面直径约为 47.4 m;1~4 区地上部分通过设置 3 道抗震缝分为 4 个结构单元。建筑实景图及分区示意如图 1 所示。

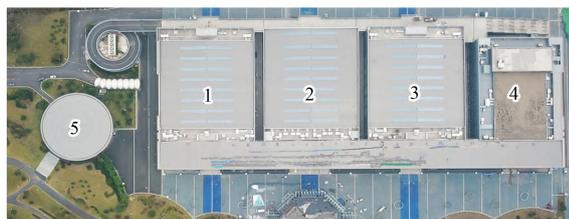


图 1 建筑实景图及分区示意

主体结构设计工作年限为 50 a,主体结构耐久年限为 50 a,地基基础设计等级为乙级<sup>[4]</sup>。基本风压值为 0.35 kN/m<sup>2</sup>(50 a 重现期);地面粗糙度类别 B 类,基本雪压值为 0.45 kN/m<sup>2</sup>(50 a 重现期)<sup>[5]</sup>。抗震设防烈度为 6 度,设计基本地震加速度值为 0.05 g,建筑场地类别为 II 类,展厅和会议中心的抗震设防类别为乙类,其余单体为丙类<sup>[6]</sup>。

## 2 主体结构设计

### 2.1 基础设计

本工程拟建场地属绿水阶地地貌,石炭系石灰岩构成场地基底,基底岩层呈厚层状分布,原始地貌单元属冲积堆积地貌类型。依据地质勘察报告,场地内中风化灰岩是良好的桩端持力层。为确保工期,采用大直径旋挖桩基础,基础持力层为中风化灰岩,桩身成孔采用钢护筒干作业,入灰岩时采用合金钻头成孔,使用人工清底方式确保沉渣厚度满足规范要求。经综合考虑,本工程旋挖桩直径分为 3 种:1 000、1 200 和 1 500 mm,单桩竖向承载力特征值  $R_a = 5\ 800 \sim 13\ 200$  kN。

### 2.2 展馆结构设计

#### 2.2.1 展馆结构选型

1<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>展馆为双层展厅,2<sup>#</sup>展馆为单层通高展厅,1<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>展馆的底层展厅标准柱网是 15 m×15 m,层高为 10.8 m,根据使用要求,1<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>展馆的顶层展厅和 2<sup>#</sup>展馆是跨度为 63.0 m 的大空间,柱距分别是 7.5 m 和 9 m,其中 1<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>展馆二层展厅的平面尺寸为 63.0 m×63.0 m,2<sup>#</sup>展馆展厅的平面尺寸为 72.0 m×63.0 m。为加快工程进度,主体结构采用钢框架结构<sup>[7]</sup>,楼盖采用钢梁+钢筋桁架楼承板组合楼板。大空间区域的建筑平面为矩形,屋盖结构方案对比了正放四角锥网架、平面桁架和空间立体桁架 3 种结构方案。建筑师要求展厅不吊顶,尽可能的展现结构美,考虑到室内效果,排除了网架方案,屋盖跨度大于 60 m 且是单跨结构,最终选择了稳定性好、承载力高的空间桁架方案。

空间桁架采用倒三角形立体桁架,桁架宽度为 3 000 mm,桁架高度为 2 125~3 700 mm,桁架上弦

截面为 $\varnothing 351\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ ,下弦截面为 $\varnothing 402\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ ,腹杆截面为 $\varnothing 152\text{ mm} \times 5\text{ mm} \sim \varnothing 180\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ ,弦杆钢材材质为 Q345GJB,腹杆钢材材质为 Q345B。支撑屋顶桁架柱截面为 $1\ 200\text{ mm} \times 600\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ,内设 T 型加劲板,钢材材质为 Q345GJB。

以 2#展馆为例说明展厅大跨钢屋盖结构布置,屋盖采用单向空间桁架方案,由横向 8 榀主桁架、2 榀纵向边桁架、2 榀纵向次桁架、横向边跨钢梁、屋盖上弦平面支撑和系杆组成,其中 2 榀纵向次桁架为加强屋盖的整体性满足屋盖整体提升要求施工阶段增设的。边桁架和次桁架高度为 2.125 ~ 2.575 m,弦杆截面为 $\varnothing 203\text{ mm} \times 8\text{ mm} \sim \varnothing 219\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ ,腹杆杆截面为 $140\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ,屋盖结构布置如图 2 所示。

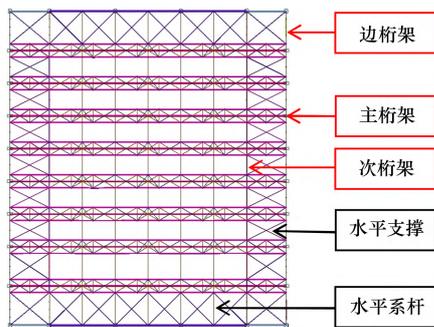


图 2 2#展馆大跨屋盖布置

### 2.2.2 展馆计算分析与设计

采用 YJK 和 Midas Gen 软件对结构进行竖向荷载、水平荷载和温度作用下的整体分析。2#展馆整体计算模型如图 3 所示。1#展馆的前三阶自振周期为 1.48 s (X 方向平动)、1.35 s (扭转)、1.20 s (Y 方向平动),最大位移角为 1/956; 2#展馆的前三阶自振周期为 1.95 s (Y 方向平动)、1.67 s (X 方向平动)、1.59 s (扭转),最大位移角为 1/264; 3#展馆的前三阶自振周期为 1.50 s (X 方向平动)、1.35 s (扭转)、1.25 s (Y 方向平动),最大位移角为 1/1 014。空间桁架活载作用下的下最大竖向位移为 57.5 mm,挠度值为  $L/1\ 096$ ,小于规范的容许值  $L/1\ 000$ ,恒载 + 活载标准组合作用下的下最大竖向位移为 224.90 mm,挠度值为  $L/280$ ,大于规范的容许值  $L/400$ ,施工时主桁架预起拱  $L/500$ ,考虑起拱后的挠度限值满足规范要求。为保证主桁架计算的可靠性,在 Midas Gen 里面建立单榀桁架的计算模型,整体模型和单榀模

型包络设计。支撑主桁架的钢柱通过屈曲分析确定钢柱的计算长度系数,桁架弦杆最大应力比为 0.83,桁架腹杆的最大应力比为 0.89,支撑桁架钢柱的应力比不大于 0.80。主桁架单榀复核杆件应力比如图 4 所示。

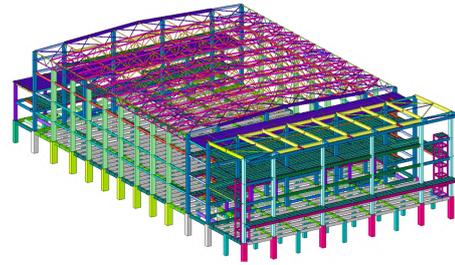


图 3 2#展馆整体计算模型

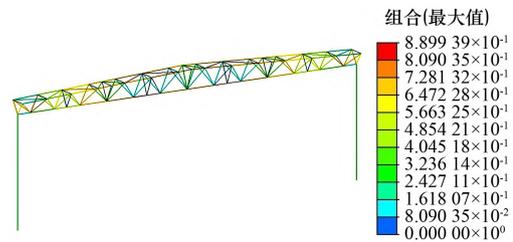
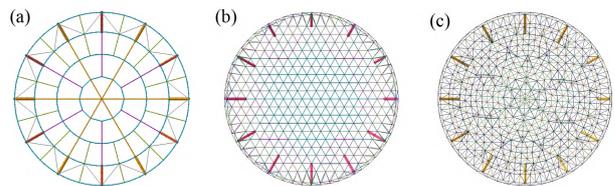


图 4 主桁架单榀复核杆件应力比

### 2.3 陶瓷生活体验馆结构设计

陶瓷生活体验馆地上 2 层,整个建筑呈倒圆台形,立面向外倾斜  $21^\circ$ ,结构柱圆形布置,首层的柱距为 10 m,外圈设置 12 根斜柱,屋面跨度为 45.96 m。结合工期和抗震性能等因素,结构体系采用钢框架结构,楼盖采用钢梁 + 钢筋桁架楼承板组合楼板。屋盖对比了平面桁架、三向网架和三角锥 + 四角锥混合网架 3 种结构方案,最终确定屋盖结构采用三角锥 + 四角锥混合网架方案,如图 5 所示。钢斜柱截面为 $\varnothing 700\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 。网架高度为 1.916 ~ 3.1 m,网格尺寸为  $(2.2 \sim 3.7)\text{ m} \times (2.8 \sim 3.5)\text{ m}$ ,上弦杆最大截面为 $\varnothing 159\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ ,下弦杆最大截面为 $\varnothing 114\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ ,腹杆最大截面为 $\varnothing 114\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ ,屋面为铝单板金属屋面。



(a) 桁架方案; (b) 三向网架方案; (c) 混合网架方案

图 5 体验馆方案阶段不同屋盖形式

考虑到单体造型特殊,网架先采用 3D3S 建模计算,再采用 YJK 计算软件对结构进行整体分析<sup>[8]</sup>,考虑到网架与下部结构协同工作,最后用 Midas Gen 软件对整体结构进行了计算复核,计算模型如图 6 所示。结构前三阶自振周期为  $T_1 = 1.147$  s(Y 向平动)、 $T_2 = 1.093$  s(X 向平动)、 $T_3 = 0.994$  s(扭转),楼层最大层间位移角为  $1/942$ ,网架标准组合下的最大变形为  $146.5$  mm  $< L/250 = 183.84$  mm。

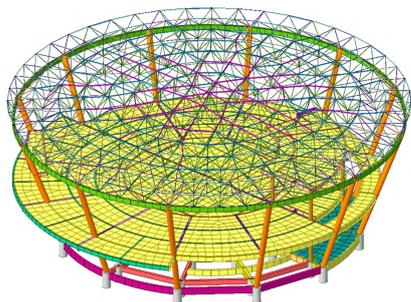


图 6 体验馆 Midas 整体模型

#### 2.4 会议中心结构选型与设计

会议中心地上 5 层,内部有宴会厅、会议室、多功能厅和配套用房,满足会展的会议和宴会需求。根据使用功能要求,建筑内部存在楼板不连续、错层和局部穿层柱等抗震不利因素,为提高结构的抗震性能,采用钢框架结构。为避免结构超限,在建筑物的水平方向设 4 榀钢结构支撑控制扭转变形比,钢支撑对应的位置地下室设剪力墙。考虑到结构存在两个不规则项,钢框架的抗震等级提高至三级。楼盖和屋盖均采用钢梁+钢筋桁架楼承板组合楼板,三维计算模型如图 7 所示。

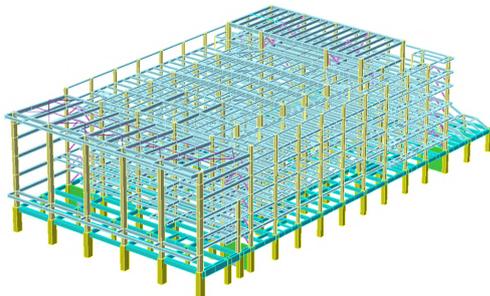


图 7 会议中心结构三维计算模型

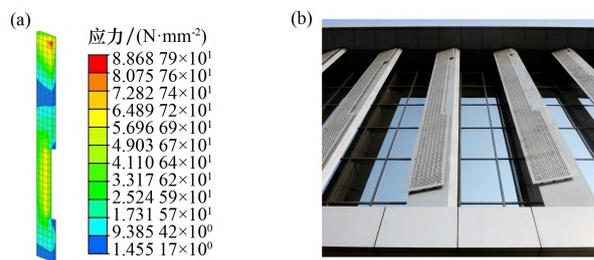
采用 YJK 软件进行整体模型分析<sup>[9]</sup>,结构前三阶自振周期为  $T_1 = 1.43$  s(Y 向平动)、 $T_2 = 1.18$  s(X 向平动)、 $T_3 = 1.01$  s(扭转),楼层最大层间位移角为  $1/1282$ ,扭转位移比最大值为 1.19,其余

各项指标均满足规范要求。楼板开大洞区域采用弹性板计算,并补充中震和温度作用下楼板应力分析,根据应力分析结果对楼板配筋进行加强。抗侧力体系的杆件应力比控制在 0.8 以内,次要构件的应力比不大于 0.9。

### 3 专项设计分析

#### 3.1 西立面遮阳板结构设计

为丰富建筑立面,并满足绿建节能相关要求,展馆和会议中心西向设计了高度为 17.8 m 的遮阳板,遮阳板与水平面的夹角为  $15^\circ$ 。遮阳板的平面为平行四边形,宽度为 0.9 ~ 1.3 m,厚度为 200 mm,采用 8 mm 厚的钢板焊接围合而,每隔 350 ~ 400 mm 设置一道竖向加劲板,每隔 2 m 设置一道横向加劲板。遮阳板悬挂在屋面挑梁上,按受拉构件设计。采用壳单元进行计算分析,最不利荷载组合下构件最大应力为 88 MPa,小于钢材抗拉强度设计值。遮阳板应力分析结果和实景图如图 8 所示。



(a) 遮阳板应力云图; (b) 遮阳板实景

图 8 遮阳板应力云图及实景

#### 3.2 景观柱廊结构设计

结合景观设计,在广场上设置了多个半圆形景观柱廊,柱廊半径为 2.4 ~ 3.7 m 不等,高度为 3.85 ~ 6.50 m 不等。每个柱廊设 3 个椭圆形钢柱,钢梁采用翼缘外伸的箱梁,柱顶采用销轴节点与钢梁连接。对于这种异形结构,需要通过屈曲分析来研究其稳定情况,确定钢柱计算长度系数。为准确反映钢柱所处的刚度、边界和受力情况,采用整体模型进行特征值屈曲分析<sup>[10]</sup>,一阶屈曲模态如图 9 所示。根据屈曲分析结果,由欧拉公式计算可得钢柱的计算长度系数在 1.09 ~ 1.62 之间,根据规范的长细比限值和承载力确定钢柱的截面。最终共设计了 3 种椭圆柱截面,椭圆柱长轴为 250、290 mm,短轴为 160、200 mm。景观柱

廊实景如图10所示。

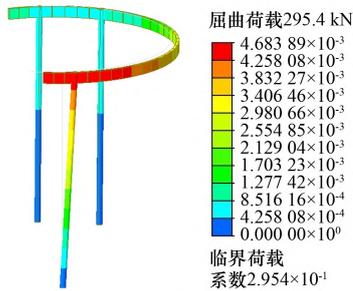


图9 椭圆柱一阶屈曲模态



图10 景观柱廊实景

### 3.3 楼盖振动舒适度分析

本工程展馆楼盖的最大跨度为15 m,功能定位为展览厅,兼做会议、演出等功能,正常使用过程中的楼盖振动舒适度控制显得尤为重要。根据《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》(JGJ/T 441—2019)相关规定<sup>[11]</sup>,楼盖振动舒适度计算时考虑行走激励和有节奏运动两种工况,行走激励工况下的舒适度限值取峰值加速度为 $0.15 \text{ m/s}^2$ ,有节奏运动工况下的舒适度限值取有效最大加速度为 $0.50 \text{ m/s}^2$ 。

以1#展馆二层楼盖为例,展厅区域第一阶竖向频率为3.55 Hz,满足大于3 Hz的频率限值要求。选取楼盖跨中路线作为行走工况加载路径,选取跨中矩形区域作为有节奏运动工况加载面<sup>[12]</sup>,荷载函数和荷载模型参数按《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》取值。行走激励荷载作用下,楼盖竖向振动峰值加速度 $a_p = 0.016 \text{ m/s}^2 < 0.15 \text{ m/s}^2$ 。采用舞厅、演出舞台模拟有节奏运动工况,计算得到楼盖的有效最大加速度响应 $a_{pm} = 0.352 \text{ m/s}^2 < 0.50 \text{ m/s}^2$ ,节点有效最大加速度时程响应如图11所示。综上分析,本工程大跨度楼盖振动舒适度满足要求。

### 3.4 复杂节点设计

本工程中展馆主桁架跨度为63 m,桁架与钢

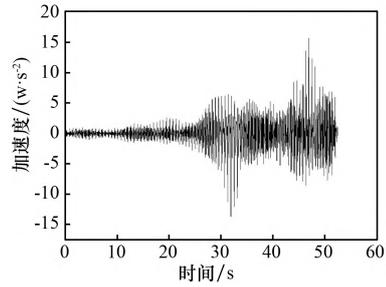
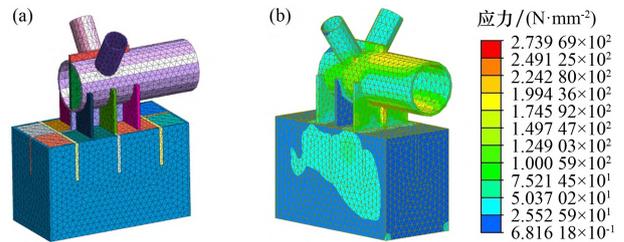


图11 节点有效最大加速度时程响应

柱顶连接位置杆件受力复杂,桁架支座节点为本工程的复杂关键节点<sup>[13]</sup>。在FEA NX软件中采用实体单元对桁架支座节点建模,划分好网格后将节点耦合到整体模型中<sup>[14]</sup>,对节点进行各工况下节点验算,应力分析结果如图12所示。分析结果表明,钢柱柱顶的最大应力为102 MPa;桁架端部节点区加劲板最大应力约242 MPa;斜腹杆最大应力约为191 MPa;桁架跨度方向与加劲板交接处局部应力集中,但区域很小,最大应力为274 MPa,大部分区域的应力小于220 MPa;所有构件的整体应力均小于钢材的抗压、抗拉强度设计值,节点设计合理可靠。



(a) 节点有限元模型; (b) 节点应力云图

图12 节点有限元分析结果

## 4 结论

(1) 基础设计:在复杂的地质条件下,采用旋挖成孔灌注桩基础,使用旋挖成孔人工清底的施工工艺,加快施工进度,减少沉渣厚度,提高了桩基承载力。

(2) 上部主体结构设计:展馆大跨度屋盖经过3种方案的比选,最终选用室内效果好、结构稳定好的倒三角形钢管桁架;陶瓷生活体验馆大跨度屋盖比选了3种不同的结构方案,最终选用用钢量最省、施工方便的三角锥+四角锥混合网架;会议中心设置了4道钢支撑控制结构扭转位

(下转第100页)

表 1 量化效益对比

指标	实施前	实施后	改善幅度/%
万平米事故率	1.27 次	0.72 次	↓43
月进度偏差	9.3%	3.6%	↓61
混凝土损耗	4.8%	3.9%	↓18
协同响应速度	48 小时	8 小时	↑83

### 3 结 论

本文以某矿山建设工程为例,对智慧工地建设进行探索和研究,结合信息化技术在施工管理中的创新应用,建立智慧云平台网络架构,对工程施工进行适时全面全过程管控,并在安全、质量、效率等方面与传统管理模式进行了对比分析。研究得出适合大型建设项目的智慧工地管理模式,特别是人员实名制管理、智慧安全在工程施工中

的创新应用,大大提高了工程管理的效率 and 安全性。随着数字赋能的飞速发展,数字化智慧化在工程建设管理的应用前景将更加广阔,少人化、无人化施工,甚至智慧城市将不再是梦想。

### 参考文献:

- [1] 程炜. 智慧工地在项目安全管理中的应用与发展研究[J]. 中国科技投资. 2023(25):149-151.
- [2] 段玉洁,金睿,刘东海. 施工过程中智慧工地应用研究与实践[J]. 土木工程信息技术. 2022(6):92-97.
- [3] 李伟,王小斌,张硕英,等基于数字例会驱动的智慧工地落地应用研究[J]. 建筑经济. 2023(11):53-57.
- [4] 张鹏程,王岩飞. 推广智慧工地建设,推进工程管理精细化[J]. 中国建设信息化. 2024(3):30-35.

(上接第 93 页)

移比避免结构超限,屋顶大跨度屋盖采用钢梁+钢筋桁架楼承板。综合建筑室内效果、结构整体稳定性、用钢量和施工等因素采用了多种大跨屋盖结构方案,做到了结构设计安全、经济、适用和美观。

(3) 异形构件设计:遮阳板采用 8 mm 厚钢板焊接,内设多道纵向和横向加劲板,按悬挂结构设计,采用壳单元进行应力分析,分析结果表明构件承载力满足设计要求;半圆形柱廊钢柱采用椭圆柱,通过屈曲分析得到钢柱的计算长度系数,根据承载力和长细比限值要求确定钢柱的截面尺寸,实现了结构成就建筑之美。

(4) 楼盖舒适度:对大跨度楼盖进行了楼盖振动舒适度时程分析,结果表明展厅楼盖满足舒适度要求。

(5) 复杂节点设计:对空间桁架的支座节点进行节点有限元分析,节点承载力满足设计要求,节点连接安全可靠。

### 参考文献:

- [1] 赵建国,许瑞,张伟威,等. 天津国家会展中心结构设计综述[J]. 建筑科学,2020,36(9):27-35.
- [2] 周建龙,方义庆,包联进,等. 某大型会展中心大跨度楼盖结构体系比选[J]. 建筑结构,2013,43(增刊1):

1-5.

- [3] 刘彦生,刘培祥,周建龙,等. 上海国家会展中心 B1 展厅屋盖结构设计[J]. 建筑结构,2020,50(12):35-39.
- [4] 建筑地基基础设计规范:GB 5022—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [5] 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [6] 建筑工程抗震设防分类标准:GB 5022—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [7] 何志力,黄用军,梁威,等. 深圳国际会展中心标准展厅结构设计[J]. 建筑结构,2020,50(2):9-13;24.
- [8] 樊钦鑫,孙亚琦,邹翔,等. 淮州新城国际会展中心复杂钢结构设计[J]. 建筑结构,2021,51(13):45-51.
- [9] 李丽,沈金,谢辽,等. 某会展中心展厅异形复杂大跨结构选型与设计[J]. 建筑结构,2023,53(20):14-19;97.
- [10] 陈宇,王四清,黄淳. 郴州市国际会展中心主体结构设计关键问题研究[J]. 建筑结构,2020,50(17):21-26.
- [11] 建筑楼盖结构振动舒适度技术标准:JGJ/T 441—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [12] 徐若天,李焱,包联进,等. 中国(杭州)国际快递会展中心结构设计[J]. 建筑结构,2023,53(20):450-454.
- [13] 龚灵力,阳波,李鹏,等. 长沙某大跨转换超限高层结构设计[J]. 建筑结构,2022,52(22):16-22;107.
- [14] 吴传侠. 鹰潭会展中心结构设计研究[J]. 建筑结构,2022,52(20):503-507.